

# Überprüfung der sicherheitstechnischen Anforderungen des Endlagers Konrad nach dem Stand von Wissenschaft und Technik (ÜsiKo) Phase 2

Phase 2 der ÜsiKo – Maßnahmen zur Verhinderung von Kollisionen unter Tage

Fachöffentliche Ergebnispräsentation am 24.10.2024 in Braunschweig

# ÜsiKo Phase 2 – Verhinderung von Kollisionen unter Tage

## Agenda

1. Vorstellung des Auftragnehmers
2. Einleitung und Aufgabenstellung
3. Randbedingungen
4. Systembewertung
5. Methodik & Bewertung
6. Ergänzende Schutzmaßnahmen
7. Ergebnisse und Empfehlungen

# ÜsiKo Phase 2 – Verhinderung von Kollisionen unter Tage

## Agenda

- 1. Vorstellung des Auftragnehmers**
2. Einleitung und Aufgabenstellung
3. Randbedingungen
4. Systembewertung
5. Methodik & Bewertung
6. Ergänzende Schutzmaßnahmen
7. Ergebnisse und Empfehlungen

# Vorstellung des Auftragnehmers

## **Auftragnehmende Unternehmen:**

- **DMT GmbH & Co. KG:**
- **TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG**
- **IAV GmbH Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr**

## **Das Team verfügt über vertiefte Fachkenntnisse:**

- Fachkenntnisse bezüglich der technischen Einrichtungen in einem Endlager für radioaktive Abfälle
- Fachkenntnisse bezüglich der Abläufe in einem Endlager für radioaktive Abfälle
- Fachkenntnisse bezüglich Fahrzeugentwicklung und Digitalisierung
- Fachkenntnisse bezüglich Automatisierung und Fahrerassistenzsystemen
- Fachkenntnisse bezüglich Bewertung und Methodik von Fahrerassistenzsystemen

# ÜsiKo Phase 2 – Verhinderung von Kollisionen unter Tage

## Agenda

1. Vorstellung des Auftragnehmers
- 2. Einleitung und Aufgabenstellung**
3. Randbedingungen
4. Systembewertung
5. Methodik & Bewertung
6. Ergänzende Schutzmaßnahmen
7. Ergebnisse und Empfehlungen

# Einleitung und Aufgabenstellung

**Aus den Betrachtungen der Phase 1 ging hervor, dass zusätzlich zu der bisherigen Planung weitere technische Möglichkeiten der Fahrerassistenzsysteme (z. B. Kollisions-, Abstands-, Spurhaltesystem) berücksichtigt werden können**

- Aus diesem Sachverhalt resultiert das Delta 36

## **Aufgabenstellung:**

**„Bewertung von zusätzlichen Systemen zur Vermeidung der Kollision eines Fahrzeuges mit einem Hindernis“**

Es sollte untersucht werden, ob der Einsatz von Fahrerassistenzsystemen bzw. Systeme für autonomes Fahren (angemessener Stand von Wissenschaft und Technik) über die schon bestehenden Schutzmaßnahmen hinaus einen weiteren Beitrag zur Optimierung der Sicherheit des Endlagers leisten kann (sog. signifikanter Sicherheitsgewinn).

# Einleitung und Aufgabenstellung

**Im Rahmen der Untersuchung wurde durch den Auftragnehmer betrachtet,**

- welche Fahrerassistenzsysteme und Systeme für autonomes Fahren zurzeit existieren,
- welche Kriterien für die Beurteilung und Bewertung des Sicherheitsniveaus/-gewinns und der Fahrerassistenzsysteme und autonomen Fahrzeuge zugrunde gelegt werden, sowie
- ob es Fahrerassistenzsysteme und/oder Systeme für autonomes Fahren für den Einlagerungsbetrieb gibt, die **einen signifikanten Sicherheitsgewinn** erzielen könnten.

# ÜsiKo Phase 2 – Verhinderung von Kollisionen unter Tage

## Agenda

1. Vorstellung des Auftragnehmers
2. Einleitung und Aufgabenstellung
- 3. Ergebnis**
4. Systembewertung
5. Methodik & Bewertung
6. Ergänzende Schutzmaßnahmen
7. Ergebnisse und Empfehlungen



# Ergebnisse und Empfehlungen

## Vermeidung von Kollisionen unter Tage

### Ergebnisse der Untersuchungen

- Es wurden verschiedene Fahrerassistenzsysteme sowie das autonome Fahren auf die Anwendbarkeit für den Einsatz unter Tage im Endlager Konrad geprüft
- Dabei wurden insgesamt 8 Fahrerassistenzsysteme als für den spezifischen Einsatz geeignet identifiziert
- Die Systeme wurden anhand der spezifischen Fahrsituationen bewertet und es wurde der jeweilige Sicherheitsgewinn bestimmt
- Abschließend wurde geprüft, ob die Fahrerassistenzsysteme zu einem signifikanten Sicherheitsgewinn für die Vermeidung von Kollisionen unter Tage führen können
- Der Einsatz von Fahrerassistenzsystemen über die schon bestehenden Schutzmaßnahmen hinaus bietet im Ergebnis keinen signifikanten Sicherheitsgewinn. Die Sicherheitsrelevanz des Deltas 36 ist in jedem Fall ausgeschlossen

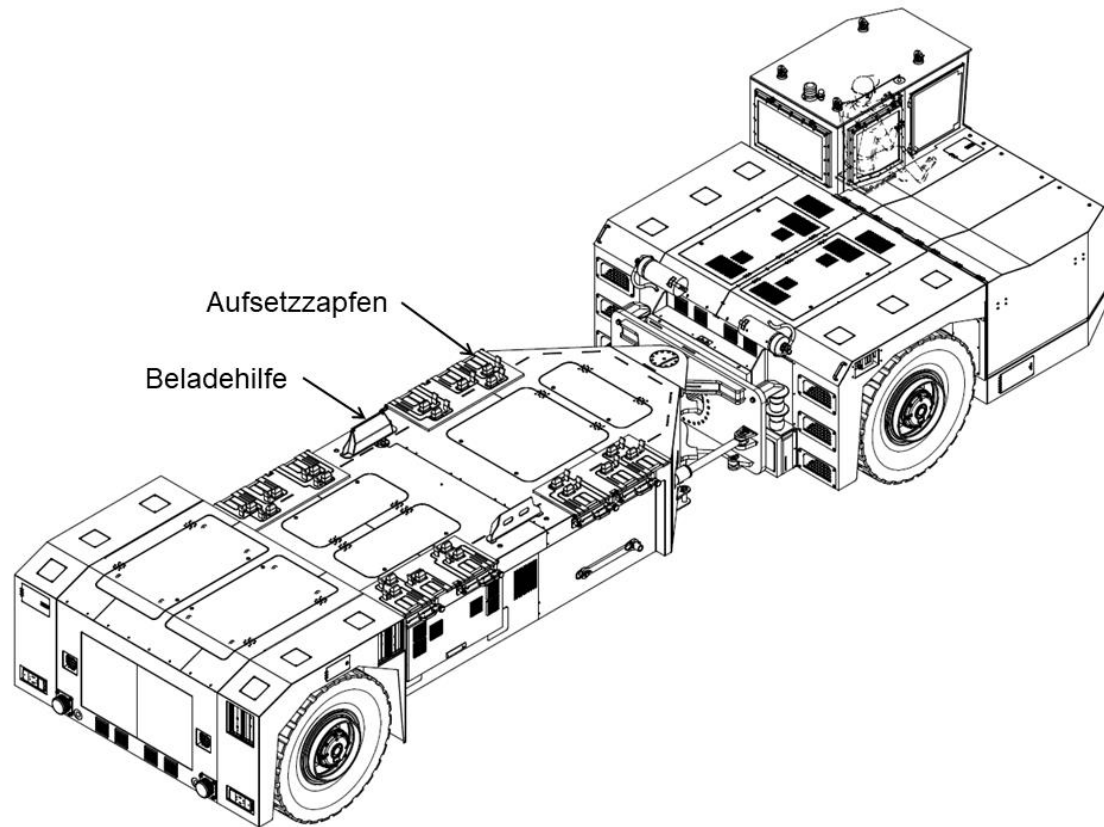
# ÜsiKo Phase 2 – Verhinderung von Kollisionen unter Tage

## Agenda

1. Vorstellung des Auftragnehmers
2. Einleitung und Aufgabenstellung
- 3. Randbedingungen**
4. Systembewertung
5. Methodik & Bewertung
6. Ergänzende Schutzmaßnahmen
7. Ergebnisse und Empfehlungen

# Randbedingungen

## Transportwagen



Der Transportwagen verfügt über u. a.

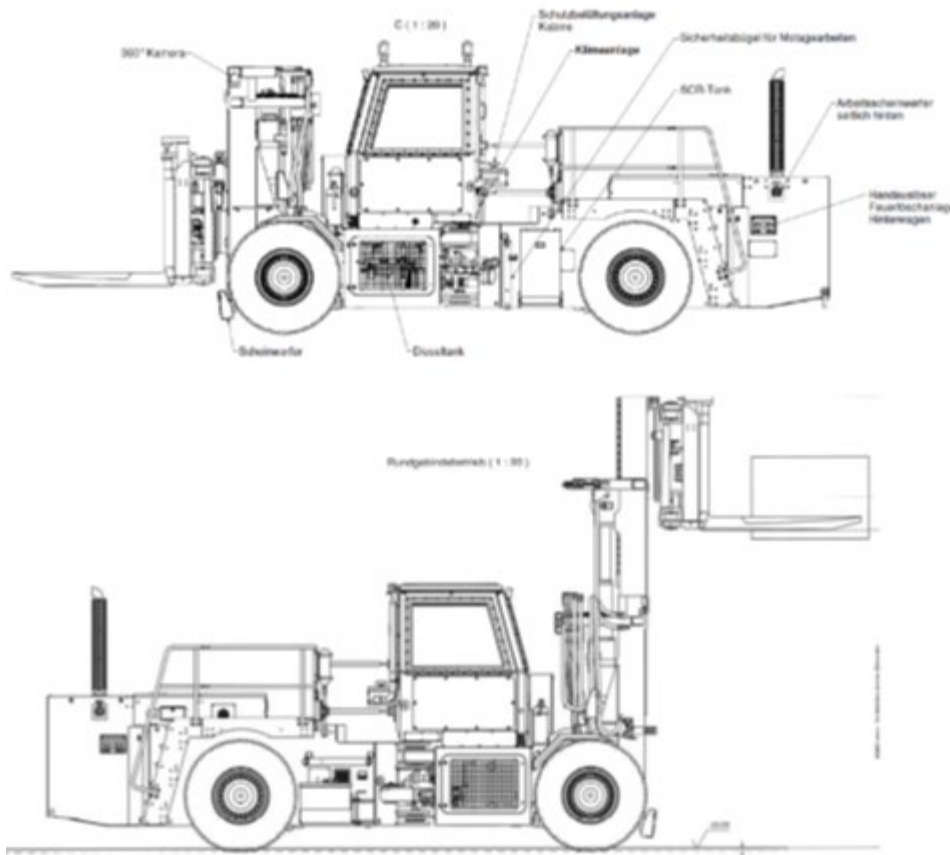
- 4 Antriebseinheiten,
- Redundante Bremseinrichtungen,
- Feuerlöschanlage,
- Geschwindigkeitsbegrenzung auf 14,4 km/h,
- Kommunikationseinrichtung zu örtlichem Leitstand im Füllort und Transportwagen.

Überwachung der Sicherheitsfunktionen (u. a.):

- Not-Halt,
- Max. zulässige Geschwindigkeit,
- Fahrerpräsenz.

# Randbedingungen

## Stapelfahrzeug



Das Stapelfahrzeug verfügt über u. a.

- Redundante Bremseinrichtungen,
- Feuerlöschanlage,
- Geschwindigkeitsbegrenzung auf 14,4 km/h,
- Kommunikationseinrichtung zu örtlichem Leitstand im Füllort und Stapelfahrzeug,
- Kameraüberwachung

Überwachung der Sicherheitsfunktionen (u. a.):

- Not-Halt,
- Max. zulässige Geschwindigkeit.

# Randbedingungen

## Technischer Betrachtungsumfang

### Zur Bewertung des Nutzens von Fahrerassistenzsystemen wurden folgende allgemeine Randbedingungen untersucht:

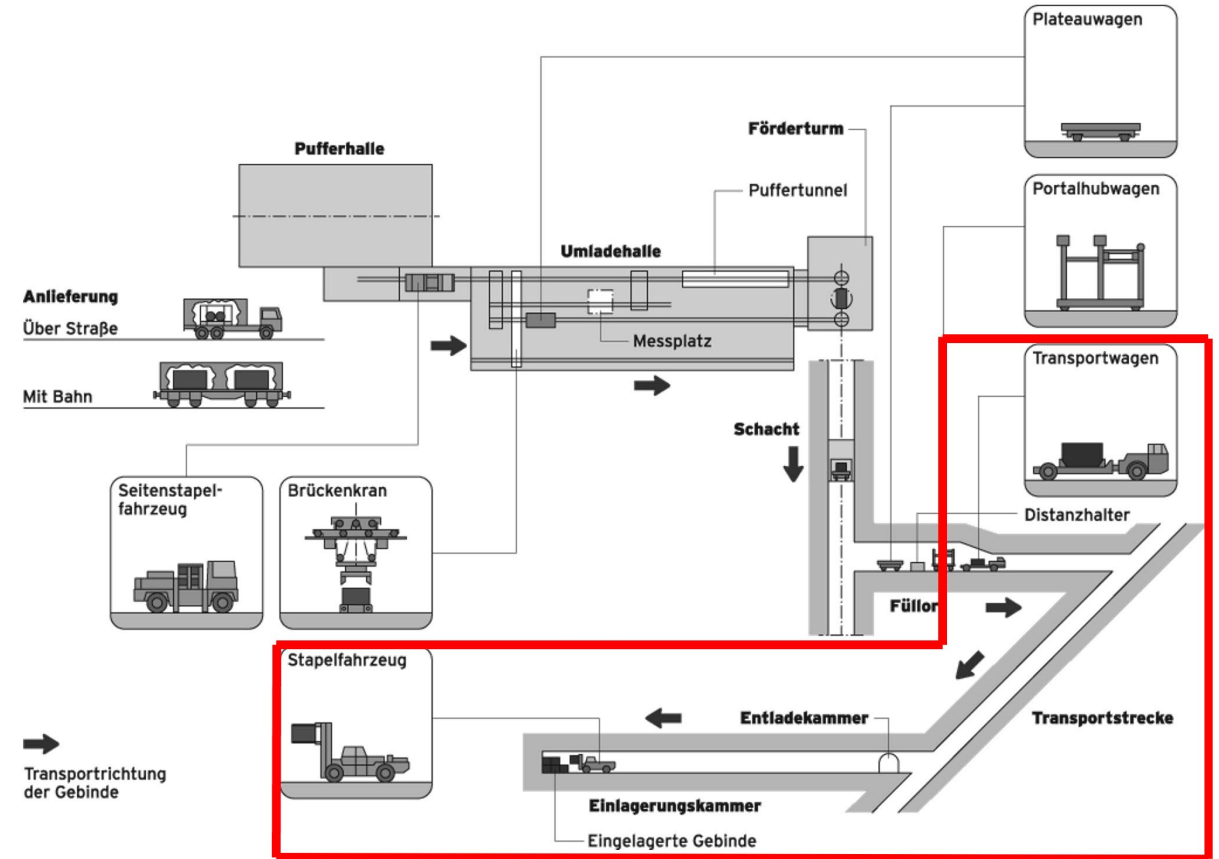
- Betrachtung der physischen Umgebung, um Nutzungsmöglichkeit von z. B. Sensoren bewerten zu können.
- Details zu den Streckenmaßen und den Umgebungsbedingungen wie Feuchtigkeit und Staubbelastung.
- Berücksichtigung verschiedener Fahrbahnen und Grubenraumgeometrien.
- Betrachtung unterschiedlicher Betriebszustände:
  - Transport von Abfallgebinden
  - Beladung am Füllort
- Betrachtung unterschiedlicher Fahrsituationen:
  - Geradeausfahrt
  - Fahrt auf einer Rampe
  - Kurvenfahrt und Abbiegen an Knotenpunkten

# Randbedingungen

## Räumlicher Betrachtungsumfang

### Einlagerungssystem unter Tage

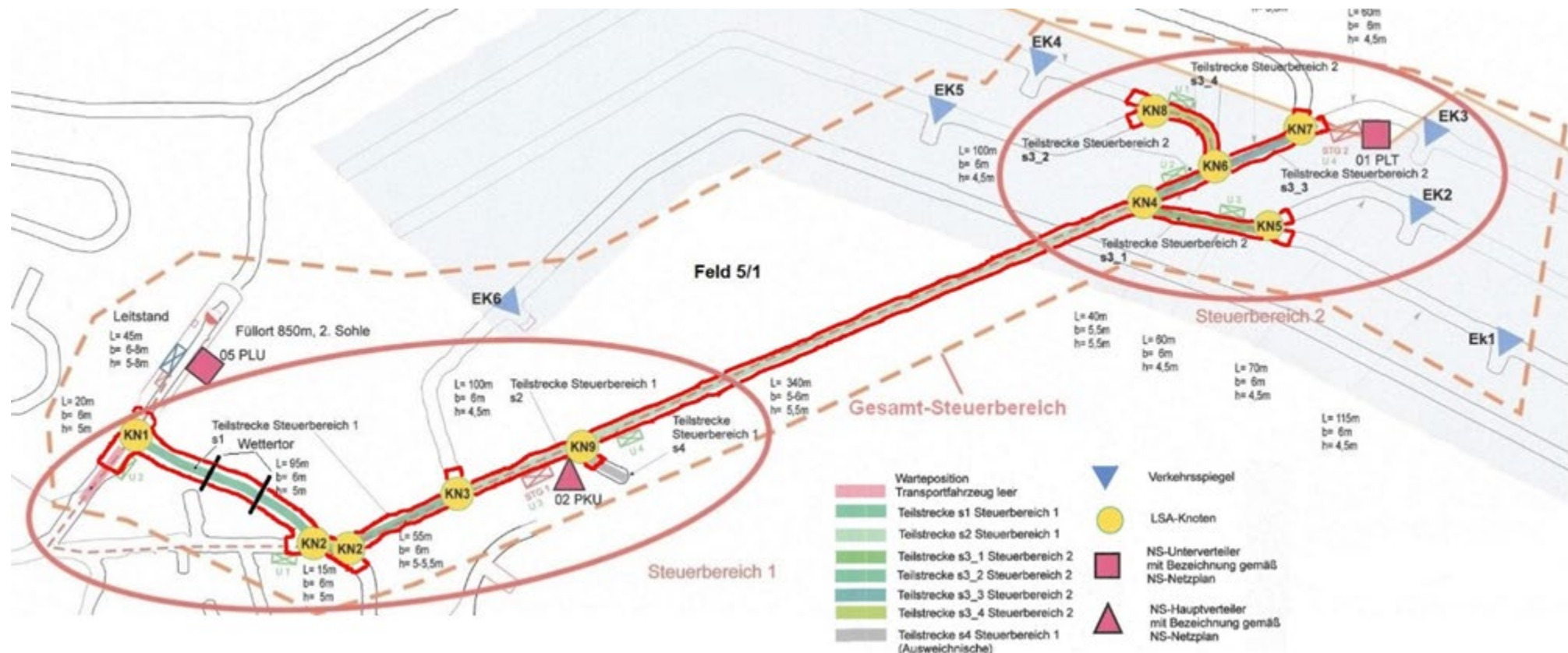
- Die Untersuchungen umfassten Teile des untertägigen Einlagerungssystem nach Abschluss der Umladung der Gebinde durch den Portalhubwagen auf den Transportwagen
- Betrachtet wurde somit die Fahrt des mit Abfallgebinden beladenen Transportwagens (TW) vom Füllort Schacht Konrad 2 bis zur Entladekammer und Fahrt des Stapelfahrzeug (SF) in die jeweilige Einlagerungskammer



# Randbedingungen

## Beispiel für ein sicherheitstechnisches System

### Schematische Darstellung des Einflussbereiches der Verkehrslenkung unter Tage (VluT)



# Randbedingungen

## Vorhandene sicherheitstechnische Systeme

**Zur Vermeidung von Kollisionen sind folgende Schutzmaßnahmen vorgesehen:**

- Administrative Schutzmaßnahmen wie
  - Befahren der Transportstrecken zu den Einlagerungskammern nur mit Transportwagen (max. 2 Fahrzeuge gleichzeitig)
  - Einweisung und Qualifizierung des Personals
- Infrastrukturelle Schutzmaßnahmen wie
  - Dynamische Verkehrslenkung
  - Spurführungsbleche
- Technische Schutzmaßnahmen wie
  - Begrenzung Fahrgeschwindigkeit
  - Kameras am Stapelfahrzeug

Die vorhandenen Systeme reichen aus, um die Sicherheit zu gewährleisten.

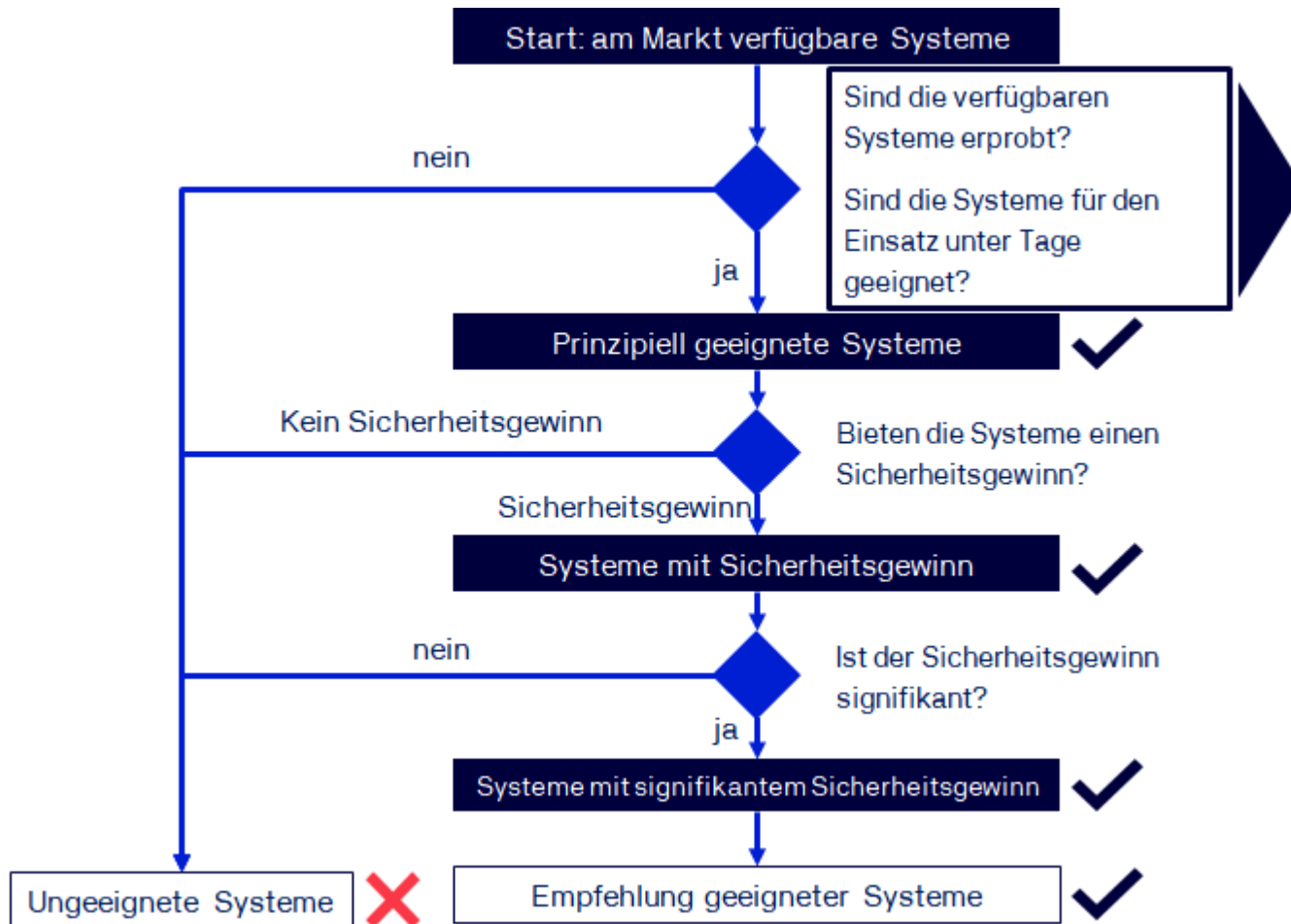


# ÜsiKo Phase 2 – Verhinderung von Kollisionen unter Tage

## Agenda

1. Vorstellung des Auftragnehmers
2. Einleitung und Aufgabenstellung
3. Randbedingungen
- 4. Systembewertung**
5. Methodik & Bewertung
6. Ergänzende Schutzmaßnahmen
7. Ergebnisse und Empfehlungen

# Vorgehensweise zur Bewertung von Fahrerassistenzsystemen und autonomen Systemen



Prinzipiell Geeignete Systeme ✓	Ungeeignete Systeme ✗
System 1	System 2
System 3	System 5
System 4	...
...	

- Basis sind die bereits durch den Planfeststellungsbeschluss definierten Systeme
- Darauf aufbauend werden die relevanten derzeit auf dem freien Markt verfügbaren Fahrerassistenzsysteme und autonomen Systeme betrachtet und bewertet.
- Fokus im ersten Schritt ist die Praxistauglichkeit unter Tage
- Bewertung hinsichtlich Sicherheitsgewinn erfolgt in weiteren Schritten

# Fahrerassistenzsysteme mit Bezug zu Projektzielen

## Ungeeignete Systeme

### Systeme zur Stabilisierung der Fahrzeugführung

- Eingriff in Quer- und Längsführung unter Nutzung von Drehzahl-/Drehratensensoren
- Umfangreich erprobt, z.B. ABS, ESP
- Hier keine weitere Berücksichtigung aufgrund der geringen Fahrgeschwindigkeiten im Endlagerbetrieb ✘

### Kollisionmeldesysteme

- Kollisionserkennung mittels taktiler Sensoren (vor Allem in Flurförderfahrzeugen) oder Beschleunigungssensoren (in PKW/LKW) und Einleitung von Maßnahmen zur Reduzierung der Unfallfolgen
- Hier keine weitere Berücksichtigung wegen Fokus des Projektes auf Kollisionsvermeidung ✘

### Kamerabasierte Erfassung von Lichtsignalanlagen (LSA)

- Erkennung von Position und Lichtfarbe durch Kameras, vor allem auf Basis neuronaler Netze
- Im Straßenverkehr umfangreich erprobt
- Hier keine weitere Berücksichtigung wegen Beschränkung der Trainingsdaten auf Straßenverkehr ✘

### Fahrzeuglokalisierung

- Lokalisierung durch Analyse von Funksignalstärke oder Detektion von Markern möglich
- Hier keine weitere Berücksichtigung wegen fehlender Erprobung ✘

# Fahrerassistenzsysteme mit Bezug zu Projektzielen

## Geeignete Systeme und möglicher Anwendungsfall

### Positionierhilfen

- Positionierung von Aufnahmevorrichtungen mittels optischer Markierhilfen wie Linien- /Kreuzlaser oder durch Kamera erfasste codierte Marker und Bestimmung der relativen Position dazu
- Erprobt und grundsätzlich geeignet ✓

### Mögliche Anwendung: Optische Markierungen als Positionierhilfe

- Risiko von Kollisionen beim Auf- und Abladen von Transporteinheiten zwischen Transportwagen und der Aufnahme am Stapelfahrzeug z.B. aufgrund von Unaufmerksamkeit oder schlechter Sicht
- Aktives System: Abschätzung von Abstand und Ausrichtung zum Gebinde wird durch zwei Kreuzlaser unterstützt, die in der Aufnahmeeinrichtung verbaut sind
- Passives System: Codierter Marker auf dem Gebinde wird durch Kamera erfasst und dessen relative Position analysiert. Information zu Abstand und Winkel kann auf Monitor visualisiert werden. Zusätzliche Hinweise zu benötigter Aufnahmeeinrichtung oder Warnungen bei inkorrekt Position möglich

### Teleoperierte Systeme

- Fernsteuerung, um Fahrer von widrigen Bedingungen zu entlasten
- Steuerung des mit Sensoren ausgerüsteten Fahrzeugs über Funk oder Kabelschnittstelle
- Bereits unter Tage im Einsatz und hinreichend erprobt ✓

### Mögliche Anwendung: Teleoperierter Betrieb

- z.B. Betrieb von Stapelfahrzeug oder Transportwagen
- An Front und Heck mit Kameras ausgestattet
- Übertragung der Kameradaten mit allen relevanten Maschinenparametern mittels Drahtlosnetzwerk an Daten-Sammelpunkte entlang der Strecke
- Kabelgebundene Weiterleitung an entfernten Bedienarbeitsplatz
- Fahrbefehle werden über eine dem Fahrzeugarbeitsplatz nachempfundene Konsole eingegeben
- Im Falle einer Störung bei der Datenübertragung würde das Fahrzeug automatisch in einen sicheren Zustand überführt werden

# Fahrerassistenzsysteme mit Bezug zu Projektzielen

## Geeignete Systeme und möglicher Anwendungsfall

### Kamerabasierte Umfeldvisualisierung

- Abbildung der Fahrzeugumgebung auf Monitor im Innenraum mittels fahrzeuginterner oder ortsfester Kameras
- Umfangreich erprobt
- Teilweise bereits serienmäßig in Befahrungsfahrzeugen bei Rückwärtsfahrt im Einsatz
- Grundsätzlich geeignet ✓

### Mögliche Anwendung: Kamerasysteme für den Transportwagen

- Erfassung des aufgrund der Fahrzeuggeometrie schlecht einsehbaren Bereichs durch Kameras, insbesondere bei Engstellen
- Verbaut am Fahrzeug oder ortsfest mit Übertragung (z.B. Funk) ins Fahrzeug je nach notwendigem Blickwinkel
- Anzeige 1 zu 1 auf Monitor oder zusammengeführt als Draufsicht
- Mögliche Einbauorte der ortsfesten, externen Kameras:
  - Fahrer kann das ganze Fahrzeug von außen sehen
  - Detailaufnahmen, beispielsweise hinsichtlich einer optimalen Positionierung am Füllort oder in der Einlagerungskammer

### Fahrerassistenzsysteme zur Fahrzeugführung

- Querführung anhand von Sensoren erfasster optische, magnetische, oder induktive Leitlinien – wegen widriger Bedingungen nicht weiter berücksichtigt ✓
- Fahrzeugführung mittels Umfelderkennung unter Tage unbekannt und deshalb nicht weiter berücksichtigt
- Kartenbasierte Querführung durch präzise Lokalisierung hinreichend erprobt und grundsätzlich geeignet

### Mögliche Anwendung: Automatisierte Querführung

- Unterstützung bei der Führung entlang einer bekannten, zuvor kartierten Strecke zwischen einem definierten Start- und Zielpunkt
- Voraussetzung: vorab 3D-vermessene Strecke und Überführung in digitale Karte sowie Ermittlung einer kollisionsfreien Trajektorie
- Lidarsensoren an Front und Heck stellen Messpunkte der Umgebung bereit und das System bestimmt durch Überlagerung von Karte und Messung aktuelle Position
- Führung des Fahrzeugs entlang der festgelegten Trajektorie mit größtmöglichem Abstand zum Stoß

[1] <https://www.mekra.de/de/produkte/kamera-monitor-systeme>

[2] <https://www.mekra.de/de/sichtloesungen/baumaschinen>

[3] [https://www.youtube.com/watch?v=N4b8kD8Ej\\_c&ab\\_channel=SandvikMiningandRockSolutions](https://www.youtube.com/watch?v=N4b8kD8Ej_c&ab_channel=SandvikMiningandRockSolutions)

# Fahrerassistenzsysteme mit Bezug zu Projektzielen

## Geeignete Systeme und möglicher Anwendungsfall

### Sensorbasierte Umfelderkennung zur Kollisionsvermeidung

- Informierende, warnende oder aktiv eingreifende Funktionen unter Nutzung von Sensoren wie z.B. Kamera, Lidar, Radar und nachgelagerter Datenverarbeitung
- Umfangreich erprobt
- Grundsätzlich geeignet



### Mögliche Anwendung: Hinderniserkennung zur Kollisionsvermeidung

- Überwachung des Umfelds des Fahrzeugs mittels fahrzeugseitig an Front und Heck montierter Lidarsensoren
- Alternativ Stereokameras, Time-of-Flight-Kameras oder Radarsensoren möglich
- Erkannte Objekte innerhalb eines definierten Bereichs löst visuelle und akustische Warnung aus. Bei weiterer Annäherung ohne Anpassung der Fahrgeschwindigkeit könnte Notbremsmanöver ausgeführt werden
- Hindernisse und Stoßkontur könnten auf Monitor angezeigt werden

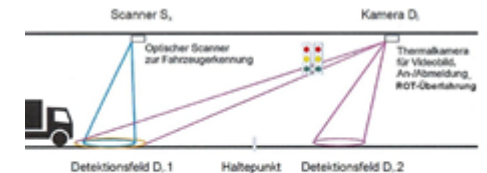
### Funkbasierte Nahbereichskommunikation

- Unterstützung des Fahrers durch Informationen von umliegenden Systemen oder dem Ansteuern von Schrankenanlagen
- Umfangreich erprobt
- Grundsätzlich geeignet



### Mögliche Anwendung:

- 1) Übertragung von LSA-Daten per Nahbereichskommunikation
  - Lichtsignalanlagen an Knotenpunkten übermitteln Status und werden im Fahrzeug visualisiert
  - Warnung nach Haltepunkten möglich
- 2) Übertragung von Fahrzeuginformationen per Nahbereichskommunikation
  - Status des Transportwagens zur Belade- oder Entladebereitschaft wird in Kabine oder zu Leitstand gesendet



[2] aktuell geplantes System ohne LSA-Kommunikation

# Fahrerassistenzsysteme mit Bezug zu Projektzielen

## Geeignete Systeme und möglicher Anwendungsfall

### Fahreraufmerksamkeits- und Fahrerzustandserfassung

- Überwachung mittels Erfassung des Lenkmoments, über kapazitive Sensoren, durch Analyse des Fahrverhaltens oder Innenraumkameras
- Einsatz bei Arbeitsmaschinen nicht bekannt
- Grundsätzlich geeignet



### Mögliche Anwendung: Fahrerbeobachtungskamera

- Überwachung des Fahrerzustands wegen Risiko der Unaufmerksamkeit
- Begünstigt durch monotone, lange Streckenabschnitte mit wenig Umgebungslicht und sehr geringe Fahrgeschwindigkeit
- Kamera innerhalb der Fahrzeugkabine mit angeschlossener Auswerteeinheit erfasst und analysiert Kopfbewegungen, Blickwinkel, Lidschlagreflex, Gähnen und weitere Indikatoren
- Im Bedarfsfall akustische oder optische Warnung in der Kabine
- Weitere Maßnahmen können Warnmeldung an Leitstand oder sogar automatisches Abbremsen und Halten sein

# Zusammenfassung der Eignung bezogen auf die Kollisionsvermeidung im Einlagerungsbetrieb

✓ Geeignete Systeme	✗ Ungeeignete Systeme
Kamerasysteme	Crash-Sensorik
Fahrerbeobachtungskamera	Ampelerkennung per Kamera
<b>Übertragung von LSA-Daten per Nahbereichskommunikation*</b>	Autonome Systeme unter Tage
<b>Übertragung von Fahrzeuginformationen per Nahbereichskommunikation*</b>	Systeme zur Stabilisierung der Fahrzeugführung
Optische Markierungen als Positionierhilfe	
<b>Hinderniserkennung zur Kollisionsvermeidung*</b>	
Automatisierte Querführung	
Teleoperierter Betrieb	

\*potenziell vorteilhaft, die im Rahmen der Inbetriebnahme des Endlagers weitere Betrachtung finden können



# ÜsiKo Phase 2 – Verhinderung von Kollisionen

## Agenda

1. Vorstellung des Auftragnehmers
2. Einleitung und Aufgabenstellung
3. Randbedingungen
4. Systembewertung
- 5. Methodik & Bewertung**
6. Ergänzende Schutzmaßnahmen
7. Ergebnisse und Empfehlungen

# Methodik & Bewertung

## Methodik zur Einstufung des Sicherheitsgewinns (1/2)

Parameter	Betrachtungshinweis zur Einstufung des Sicherheitsgewinns
Severity (Schadensausmaß = S)	Da der Störfall Kollision sicher beherrscht wird, ist ein Schaden nicht zu unterstellen. Dementsprechend spielt ein theoretisches Schadensausmaß hier keine Rolle. Die Einstufung des Sicherheitsgewinns bemisst sich nicht am Schadensfall sondern an einer zusätzlichen Optimierung der Sicherheit des Endlagers
Exposure (Eintrittswahrscheinlichkeit = E)	Da der Störfall Kollision sicher beherrscht wird, ist ein Schaden nicht zu unterstellen. Dementsprechend spielt die Eintrittswahrscheinlichkeit hier keine Rolle. Die Einstufung des Sicherheitsgewinns bemisst sich nicht am Schadensfall sondern an einer zusätzlichen Optimierung der Sicherheit des Endlagers
Controllability (Kontrollierbarkeit = C)	Zur Bestimmung der Kontrollierbarkeit wurden Fahrfehler, wie zum Beispiel menschliches Versagen oder Unaufmerksamkeit des Fahrzeugführers sowie das Eintreten eines technischen Defekts am Transportwagen, Stapelfahrzeug oder an der Verkehrsregeleinrichtung berücksichtigt.

# Methodik & Bewertung

## Methodik zur Einstufung des Sicherheitsgewinns (2/2)

Einstufung des Sicherheitsgewinns unter Bezugnahme der Kontrollierbarkeit\*:

Bestehende Schutzmaßnahme + Ergänzende Schutzmaßnahme = Verbesserte Kontrollierbarkeit → Sicherheitsgewinn\*\*

Bestehende Schutzmaßnahme + Ergänzende Schutzmaßnahme = Gleichbleibende Kontrollierbarkeit → Kein Sicherheitsgewinn\*\*

Bestehende Schutzmaßnahme + Ergänzende Schutzmaßnahme = Verschlechterte Kontrollierbarkeit → Sicherheitsverlust\*\*

Ein Sicherheitsgewinn wird dann als signifikant eingestuft, wenn er - über die bestehenden Schutzmaßnahmen hinaus - für den Endlagerbetrieb eine wahrnehmbare weitere Optimierung der Sicherheit in der Praxis zur Folge hat, die nicht nur geringfügig und/oder nur theoretisch erreichbar ist.

\*Expertenmeinung

\*\* (im jeweiligen Betrachtungsfall)

# Methodik & Bewertung

## Methodik zur Bewertung des Sicherheitsgewinns für als geeignet eingestufte Systeme

Es wurde für jedes als prinzipiell geeignet eingestufte System eine Bewertung des Sicherheitsgewinns durchgeführt.



# Methodik & Bewertung

## Fahrsituationen und Orte des Einlagerungsbetriebes

### Im Detail wurden folgende Fahrsituationen betrachtet

- Transportwagen fährt geradeaus
- Transportwagen fährt über Rampe
- Transportwagen fährt Kurve
- Transportwagen passiert Knotenpunkte
- Stapelfahrzeug fährt von der Entladekammer zur Einlagerungskammer
- Stapelfahrzeug entlädt den Transportwagen in der Entladekammer

Diese bilden die Fahrt an den einzelnen Orten des Einlagerungsbetriebes ab:

- Füllort (Beladen des Transportwagens und Kollision mit Transportmittel)
- Transportstrecke (Transport des Abfallgebindes und Kollision mit Transportwagen, Stoß, etc.)
- Entladekammer (Kollision mit Stapelfahrzeug, Stoß, Abfallgebinden, etc.)
- Einlagerungskammer (Kollision mit Stoß, Abfallgebinde, etc.)

# Anwendung auf die Betriebsabläufe

## Methodik zur Einstufung des Sicherheitsgewinns

### Für jede Fahrsituation wurden die für den Einsatz unter Tage geeigneten Systeme

- Kameras,
- Fahrerbeobachtungskamera,
- Übertragung von LSA-Daten per Nahbereichskommunikation,
- Übertragung von Fahrzeuginformationen per Nahbereichskommunikation,
- Optische Markierungen als Positionierhilfe,
- Hinderniserkennung zur Kollisionsvermeidung,
- Automatisierte Querführung und
- Teleoperierter Betrieb

hinsichtlich des zusätzlichen Sicherheitsgewinns unter Berücksichtigung der bereits vorhandenen Sicherheitseinrichtungen bewertet.

Dabei wurde der Sicherheitsgewinn des jeweiligen Systems für jede Fahrsituation einzeln bewertet.

In einem nächsten Schritt wurde eine Gesamtbewertung des jeweiligen Systems über alle Fahrsituationen vorgenommen. Aus der Gesamtbetrachtung wurde abgeleitet, ob sich durch den Einsatz des Systems ein signifikanter Sicherheitsgewinn ergibt.

# Methodik & Bewertung

## Bewertung des Sicherheitsgewinns

Beispielhafte Darstellung der Bewertung des Systems „Umfeldvisualisierung durch Fahrzeugkameras“ unter Bezugnahme auf spezifische Fahrsituationen

Fahrsituationen	Bewertung des Sicherheitsgewinns
Transportwagen fährt geradeaus	In den betrachteten anlageninternen Ereignissen würde durch die Visualisierung von Kamerabildern in der Fahrerkabine <b>kein Sicherheitsgewinn</b> entstehen, da bei Geradeausfahrt sowie der Fahrt auf einer Rampe keine erhöhte Einsehbarkeit durch die in Fahrtrichtung gerichtete Kameras erzeugt werden würde.
Transportwagen fährt über Rampe	Durch die Beobachtung des Kamerabildes auf dem Monitor bei einer Geradeausfahrt würde zudem ein <b>Sicherheitsverlust</b> entstehen, da der Fahrer seinen direkten Blick von der Fahrbahn abwenden müsste.

# Methodik & Bewertung

## Ergebnis der Bewertung

**Die geeigneten Systeme wurden für die prinzipiell denkbaren Fahrsituationen bewertet. Aus der Gesamtbewertung konnte unter Berücksichtigung der jeweiligen Ereignisse abgeleitet werden, ob ein System zur Vermeidung von Kollisionen beitragen kann und damit einen Sicherheitsgewinn bedeutet.**

- Bereits getroffenen Schutzmaßnahmen / bestehende Systeme sind hinreichend
- Ergänzende Schutzmaßnahmen führen zu **keinem signifikanten Sicherheitsgewinn**



# ÜsiKo Phase 2 – Verhinderung von Kollisionen

## Agenda

1. Vorstellung des Auftragnehmers
2. Einleitung und Aufgabenstellung
3. Randbedingungen
4. Systembewertung
5. Methodik & Bewertung
- 6. Ergänzende Schutzmaßnahmen**
7. Ergebnisse und Empfehlungen

# Ergänzende Schutzmaßnahmen

## Vermeidung der Einfahrt in gesperrte Streckenabschnitte

Ein Rotlicht-Verstoß kann auftreten durch

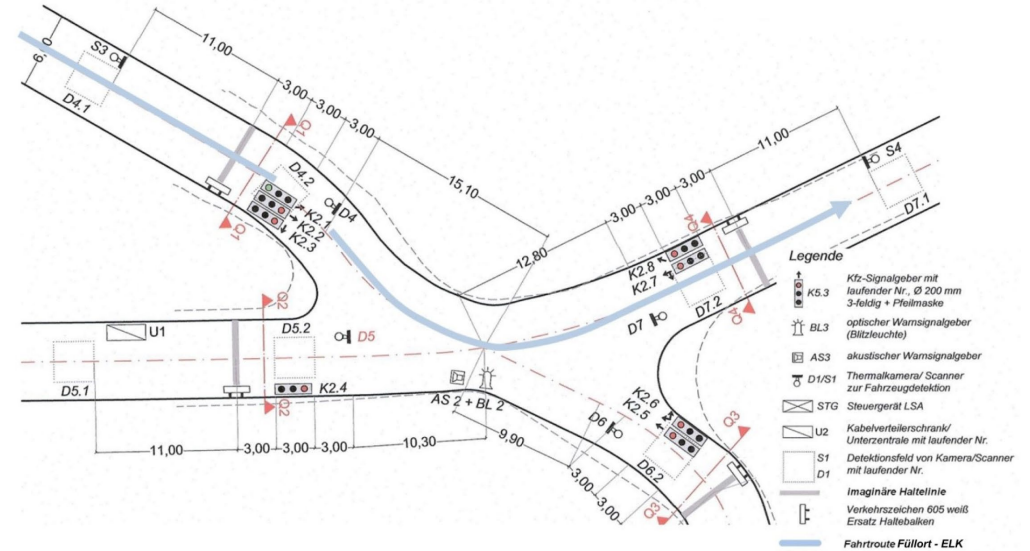
- mangelnde Aufmerksamkeit
- schlechte Sichtverhältnisse

### Vorhandene Maßnahmen

- Regelung der Freigabe der Einfahrt in die Abschnitte über Lichtsignalanlage
- Erkennen eines Rotlichtverstoßes durch Detektionsfeld

### Zusätzlich mögliche Maßnahmen zu Vermeidung der Einfahrt in gesperrte Streckenabschnitte

- Vermeiden von Rotlicht-Verstoßen im Vorfeld durch rechtzeitige Information des Fahrers
- Aktives Verhindern einer Weiterfahrt durch mechanische Sperre (Poller, Schranke) oder elektronischen Eingriff in die Bremsaktorik



# Ergänzende Schutzmaßnahmen

## Bewertung Schutzmaßnahme „Vermeidung der Einfahrt in gesperrte Streckenabschnitte“

- Die geplanten Schutzmaßnahmen zur Vermeidung einer Einfahrt in besetzte Streckenabschnitte werden als ausreichend eingestuft
- Technische Fahrerassistenzsysteme und infrastrukturelle Maßnahmen können sich als potenziell ergänzende Optimierungsmaßnahmen anbieten
  - Technische Fahrerassistenzsysteme:
    - Ausgabe eines Warnsignals bei ungebremstem Heranfahren an Rotsignal
    - Absetzen eines „Halt-Befehls“ an alle sich in der Umgebung befindlichen Fahrzeuge
      - Hoher Aufwand der Implementierung und eine aktive Kopplung der Systeme der Transportwagen mit den Systemen der LSA per Funk benötigt
  - Infrastrukturelle Maßnahmen:
    - Einbau einer Schrankenanlage, die bei Rotsignal geschlossen ist
      - Eine Schrankenanlage ist grundsätzlich geeignet, es kann jedoch **kein signifikanter Sicherheitsgewinn** erzielt werden

# Ergänzende Schutzmaßnahmen

## Fahrerassistenzsystem zum Nahbereichsdatenaustausch

- Systeme zur Nahbereichskommunikation per Funk
    - liefern Informationen von umliegenden Systemen übersichtlich auf einem Anzeigegerät an den Fahrer innerhalb der Kabine wie z. B.
      - die Daten von Lichtsignalanlagen
      - den Zustand von Fahrzeugen in der unmittelbaren Umgebung und
      - weiteren Parameter
- und übertragen diese in die Fahrerkabine
- versenden Signale aus der Fahrerkabine heraus, um z. B. (potentielle) Schrankenanlagen anzusteuern.
- **System zum Nahbereichsdatenaustausch**
- liefert bei gleichzeitigem Vorhandensein einer Schranke keinen Sicherheitsgewinn

# Ergänzende Schutzmaßnahmen

## Integration von Lidarsensoren

- Integration von Lidarsensoren könnte einen möglichen Sicherheitsgewinn liefern
- Lidarsensoren erkennen frühzeitig auch bei schlechten Lichtverhältnissen Hindernisse und können den Fahrer des Transportwagens warnen
  - Lidarsensoren sind in der Praxis erprobt und im Untertageeinsatz bewährt
  - Aus der frühzeitigen Erkennung von Hindernissen bzw. der potenziellen Kollision mit dem Stoß ergibt sich ein möglicher Sicherheitsgewinn
  - Nachrüstung des passiven Systems (Sensoren, Steuereinheit, Anzeige) in die vorgesehenen Transportwagen technisch möglich
  - Fahrer kann durch Warnung des Systems zielgerichtet auf das Geschehen zurückgelenkt werden, falls es durch die monotone Fahrt zur Einlagerungskammer zu Unaufmerksamkeiten kommt
- Möglichkeit der Nutzung von Lidarsensoren kann im Rahmen der Inbetriebnahme geprüft werden

# ÜsiKo Phase 2 – Verhinderung von Kollisionen

## Agenda

1. Vorstellung des Auftragnehmers
2. Einleitung und Aufgabenstellung
3. Randbedingungen
4. Systembewertung
5. Methodik & Bewertung
6. Anwendungsbeispiel
- 7. Ergebnisse und Empfehlungen**

# Ergebnisse und Empfehlungen

## Vermeidung von Kollisionen unter Tage

**Es wurden drei potenziell vorteilhafte Systeme, die im Rahmen der Inbetriebnahme des Endlagers weitere Betrachtung finden können, identifiziert:**

- Erweiterung der Lichtsignalanlagen (LSA) an den Knotenpunkten mit Schrankenanlagen optional zur Erweiterung der LSA
- Integration eines Fahrerassistenzsystems zum Nahbereichsdatenaustausch
- Integration von Lidarsensoren in den Transportwagen zur Warnung/Information vor Kollisionen mit dem Stoß oder Hindernissen

Der Einsatz von Fahrerassistenzsystemen über die schon bestehenden Schutzmaßnahmen hinaus bietet im Ergebnis keinen signifikanten Sicherheitsgewinn. Die Sicherheitsrelevanz des Deltas 36 ist in jedem Fall ausgeschlossen

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

ÜsiKo Phase 2 - Verhinderung von Kollisionen unter Tage